

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-275223

(43)Date of publication of application : 21.10.1997

(51)Int.Cl.

H01L 31/09

G01J 1/02

G01T 1/24

H01L 27/14

(21)Application number : 08-047576 (71)Applicant : SEIKO INSTR KK

(22)Date of filing : 05.03.1996 (72)Inventor : SATO KEIJI
SAITO YUTAKA
CHO SHOJI
KONDO MASASHI
KOHAGURA JIYUNOKO

(30)Priority

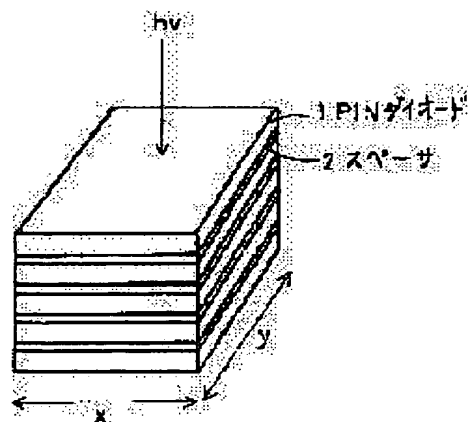
Priority number : 07 87177	Priority date : 12.04.1995	Priority country : JP
07314539	01.12.1995	
08 22859	08.02.1996	JP
		JP

(54) SEMICONDUCTOR RADIATION DETECTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to detect radioactive rays in different energy bands, by perpendicularly projecting radioactive rays into the impurity region of a first conductivity type on a silicon semiconductor substrate of second conductivity type, and detecting the signals thus obtained on a semiconductor substrate-by-semiconductor substrate basis.

SOLUTION: A large number of PIN diodes 1 are laminated with spacers 2 made of insulator in-between. Radioactive rays are perpendicularly projected into the larger face, that is, the ordinary light receiving face, of the PIN diodes 1 where a p⁺-type impurity region is formed. From this it follows that the PIN diodes 1 in the lower



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-275223

(43) 公開日 平成9年(1997)10月21日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 31/09			H 0 1 L 31/00	A
G 0 1 J 1/02			G 0 1 J 1/02	B
G 0 1 T 1/24			G 0 1 T 1/24	
H 0 1 L 27/14			H 0 1 L 27/14	K

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平8-47576

(22) 出願日 平成8年(1996)3月5日

(31) 優先権主張番号 特願平7-87177

(32) 優先日 平7(1995)4月12日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平7-314539

(32) 優先日 平7(1995)12月1日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平8-22859

(32) 優先日 平8(1996)2月8日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002325

セイコーインスツルメンツ株式会社
千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地

(72) 発明者 佐藤 恵二

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株
式会社エスアイアイ・アールディセンター
内

(72) 発明者 斉藤 豊

千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株
式会社エスアイアイ・アールディセンター
内

(74) 代理人 弁理士 林 敬之助

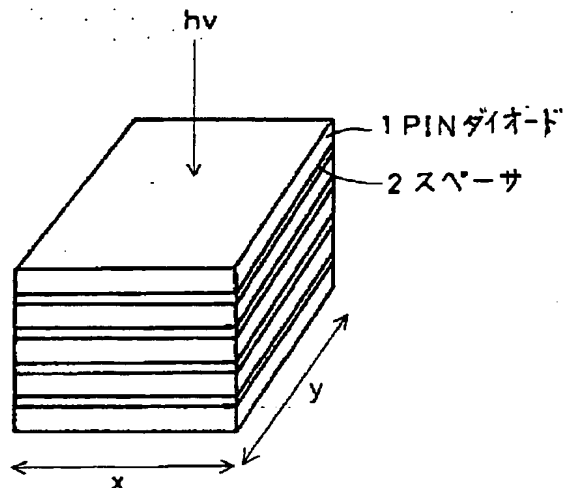
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体放射線検出装置

(57) 【要約】

【課題】 エネルギー帯域の異なる放射線検出ができる
検出器を提供する。

【解決手段】 P I Nダイオード1を絶縁体よりなるス
ペーサ2を介して多数積層し、放射線はP I Nダイオード
1の広い面に対し垂直に入射する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型シリコン半導体基板に第2導電型不純物領域を有する半導体基板を積層し、放射線を前記半導体基板の第2導電型不純物領域を有する面に垂直に入射し、得られた信号を各半導体基板ごとに独立に検出することにより異なるエネルギー帯域の放射線を検出することを特徴とする半導体放射線検出装置。

【請求項2】 前記第1導電型シリコン半導体基板は比抵抗 $1\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の半導体放射線検出装置。

【請求項3】 前記半導体基板の少なくとも1枚が前記第2導電型不純物領域の形成された部分の基板の厚みが基板の他の部分より薄くなっていることを特徴とする請求項1記載の半導体放射線検出装置。

【請求項4】 前記半導体基板の少なくとも1枚の前記第2導電型不純物領域を形成した面と反対側の面が、前記第2導電型不純物領域に対応する部分以外で表面に絶縁層を有する支持基板上にあることを特徴とする請求項1記載の半導体放射線検出装置。

【請求項5】 第1導電型シリコン半導体基板に放射線の吸収層を有する複数の第2導電型不純物領域を有し、前記第2導電型不純物領域の吸収層のエネルギー帯域ごとの吸収量が異なるものを有することを特徴とする異なるエネルギー帯域の放射線を検出する半導体放射線検出装置。

【請求項6】 前記吸収層が SiO_2 層、窒化ケイ素層、 Al 層、 Si 層の少なくとも1層以上を有することを特徴とする請求項5記載の半導体放射線検出装置。

【請求項7】 前記吸収層による放射線の吸収量が異なる複数の第2導電型不純物領域を1組とした第2導電型不純物領域の組を複数配置したことを特徴とする請求項5記載の半導体放射線検出装置。

【請求項8】 第1導電型シリコン半導体基板に第2導電型不純物領域を有するシリコン半導体基板を複数並べ、前記半導体基板の第2導電型不純物領域を有する面に平行な方向を入射面として少なくとも前記第2導電型不純物領域を形成した部分を2ヶ所以上通過するように放射線を入射することにより異なるエネルギー帯域の放射線を検出することを特徴とする異なるエネルギー帯域の放射線を検出する半導体放射線検出装置。

【請求項9】 第1導電型シリコン半導体基板に第2導電型不純物領域を有する半導体基板を積層した積層体を、

ひとつの積層体は前記半導体基板の第2導電型不純物領域を有する面が前記積層体同志の接合面に平行に、他の積層体は前記半導体基板の第2導電型不純物領域を有する面が前記積層体同志の接合面に垂直になるように、

かつ半導体基板の第2導電型不純物領域を有する面が前記積層体同志の接合面に平行になる積層体が一番上にな

るように積み重ね、

放射線を前記積層体同志の接合面に垂直に、前記積層体の前記半導体基板の第2導電型不純物領域を有する面が前記接合面に平行な積層体側から入射し、異なるエネルギー帯域の放射線を検出することを特徴とする半導体放射線検出装置。

【請求項10】 第1導電型シリコン半導体基板に第2導電型不純物領域を有する半導体放射線検出装置を2個以上有し、1群の前記半導体放射線検出装置においては前記基板の第2導電型不純物領域を有する面に垂直な方向を入射面として放射線を直接に入射し、他の群の前記半導体放射線検出装置においては前記基板の第2導電型不純物領域を有する面に平行な方向を入射面として放射線を入射することにより異なるエネルギー帯域の放射線を検出することを特徴とする半導体放射線検出装置。

【請求項11】 第1導電型シリコン半導体基板に第2導電型不純物領域を有するシリコン半導体を積層し、前記基板の第2導電型不純物領域を有する面に垂直な方向と、前記基板の第2導電型不純物領域を有する面に平行な方向から放射線を入射することにより検出面を2面から5面とすることを特徴とする半導体放射線検出装置。

【請求項12】 電流モードで測定することを特徴とする請求項1記載の放射線の半導体放射線検出装置。

【請求項13】 前記半導体基板において基板の第1導電型と第2導電型不純物領域により形成されるPN接合の印加逆バイアス電圧を無バイアスとすることを特徴とする請求項12記載の放射線の半導体放射線検出装置。

【請求項14】 電流モードで測定することを特徴とする請求項10記載の放射線の半導体放射線検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はシリコンの固体半導体放射線検出装置に関するもので、特にX線や γ 線等の高エネルギー放射線の検出に用いられるPIN接合をもつ半導体放射線検出装置とこの半導体装置の応用に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、このような分野の技術としては、図39に概念図として示すようにシンチレータ結晶5とPINダイオード1を組み合わせ、シンチレータ結晶5によりX線などの放射線を光に変換し、PINダイオード1で検出する方法が知られている。

【0003】PINダイオードとしては図3に断面図として図示することく、N⁺型半導体基板10にP⁺型不純物領域11を持つプレーナー型が知られている。今、図示することくP⁺型不純物領域11の存在する側を表面と称するなら裏面には基板のN型より高い濃度のN型不純物領域であるN⁺型不純物領域12がありP⁺-N⁺-N⁺よりなるPN接合を形成しているいわゆるPINダイオードと称される半導体装置である。

10

20

30

40

50

【0004】N⁻型不純物領域の不純物濃度が 1×10^{12} から 1×10^{17} atms/cm³程度のものをさしてイントリンシック(intrinsic、真性半導体)のiをとってPINもしくはPINと称されるものである。P⁺型不純物領域11からはアノード電極14が形成されている。

【0005】表面にはチャネルストッパーとなるN⁻型不純物領域13がありカソード電極15としてはP⁺型不純物領域11と同一の面を取ってもかまわない。PINダイオードはPN接合に逆バイアスを加えた時、他のPN接合ダイオードに比べて接合容量が少なく高速応答に適しており広く使われている。

【0006】上記のような方法で放射線のエネルギー分布あるいはスペクトロスコピックな測定をするにはパルスモードで電荷がエネルギーに比例することを利用し波高分析を行う必要がある。また空乏層をできるだけ飽和するまで延ばすつまり大きな逆電圧かけて接合容量も小さくしてやる必要がある。

【0007】出力はたとえば負荷抵抗を挿入し負荷抵抗に生ずる電圧を出力信号としてブリアンプに入力する。これを電流を直接測定する電流モードではエネルギーに関する情報は得られない。以上はN⁻型半導体基板の場合であるがP⁺型半導体基板をもちいN⁻型不純物領域をもつものも同様であり本発明では以下はすべてN⁻型半導体基板を例に説明するがP⁺型半導体基板とN⁻型不純物領域によるPIN構成にも当然あてはまるものである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来の放射線検出は前述してきたような方法をとるのでX線CT装置などでは逆電圧0Vの電流モードで使用するためエネルギー帯域の異なる放射線による断層像を得るなどということは困難だった。また大きな逆電圧をかけてパルスモードで測定してもフォトンが多い場合パルス同志の重なるバイラップが生じ波高分析を行っても正確なスペクトロスコピックな測定はできなかった。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため本発明では以下の手段を取った。第1の手段としてPINダイオードを積層し、放射線を半導体基板(積層面)に垂直に入射し得られた信号を各半導体基板ごとに独立に検出する。第2の手段として、前記PINダイオードの基板の比抵抗を $1 \text{ k} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上とする。第3の手段として、前記半導体基板の厚みをP⁺型不純物領域部分だけ他の部分より薄くする。

【0010】第4の手段として、前記半導体基板として表面に絶縁層を有する支持基板上にN⁻型半導体層を形成し、該N⁻型半導体層にP⁺型不純物領域を形成しこの接合層部分の支持基板を除去したものを使用する。第5の手段として、PINダイオードのP⁺型不純物領域を

多数分離して形成し、かつ入射面に吸収層を形成し、吸収層の厚みをP⁺型不純物領域ごとに異なって形成する。第6の手段として、前記吸収層をSiO₂、窒化ケイ素、Al、Siで形成する。第7の手段として、前記吸収層による放射線の吸収量が異なる複数のP⁺型不純物領域を1組としたP⁺型不純物領域の組を複数配置する。

【0011】第8の手段として、PINダイオードを複数並べ半導体基板の厚み方向に垂直にPINダイオード2ヶ所以上を通過するように放射線を入射することにより異なるエネルギー帯域の放射線を検出する。第9の手段として、PINダイオードを積層した積層体を基板面を垂直に積み重ね、放射線を積層体の接合面に垂直に直接入射する。

【0012】第10の手段として、PINダイオードを2個以上有し、1群の前記PINダイオードにおいては基板の厚み方向に垂直に放射線を直接入射し、他の群の前記PINダイオードにおいては基板の厚み方向に平行に放射線を入射する。第11の手段として、PINダイオードを積層し、積層面に垂直な方向と平行な方向に放射線を入射することにより検出面を2面から5面とする。第12の手段として、電流モードでの測定を行う。第13の手段として、逆電圧を無印加状態で電流モードの測定を行う。

【0013】

【発明の実施形態】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。図1は本発明にかかる半導体装置の第1の実施例を示す斜視図であり図3に示すPINダイオード1を絶縁体よりなるスペーサ2を介して多数積層している。放射線はPINダイオード1の広い面つまり通常の受光面でP⁺型不純物領域を形成した面に対し垂直に入射する。このようにすることにより下の層のPINダイオードは上の層を透過してきた高エネルギーの放射線を検出することとなり、下の層ほど相対的に高エネルギー帯域の放射線の強度が大きくなる。

【0014】図2は本発明にかかる半導体装置の第1の実施例の回路図であり、PINダイオード6に放射線が入射し生じたPINダイオード1素子1素子の信号が独立してブリアンプ7にキャパシタ9を介して入力されている。HVは逆電圧でありカソード電極側で抵抗8を介して共通に印加する。なお実際の回路は特に図2に限定されるものではなくその他種々の方式がある。

【0015】図4は本発明にかかる半導体装置の第2の実施例の回路図であり、この場合、2層目と3層目の2層及び4層目と5層目と6層目の3層がそれぞれ並列結合されている。このばあい逆電圧の印加方法、後段の回路への出力方法は図4に限定されるものではない。放射線の検出効率は空乏層の深さに依存するので透過力の大きな放射線を検出するにはできるだけ空乏層を広げた方がよい。そのさい逆電圧は余り大きくならない方がよ

い。そのためには基板比抵抗が大きい方がよい。

【0016】実用的基板の厚みは200 μ m程度が限界であり、これ以下の厚みを取り扱うことは不可能である。この実用的厚みの限界である200 μ mの基板を100V以下で空乏層を飽和するには比抵抗は1k Ω ・cm以上必要となる。通常利用されるシリコン半導体基板の厚みは600 μ m程度であり、これ以上半導体基板の厚みを厚くし空乏層を深くするのは暗電流が極端に増えるのまじいことではない。

【0017】なおかつ10k Ω ・cm以上の高比抵抗を必要とするとか100V以上の高電圧を必要とするなどの不都合が生じる。現在実用的に得られるSiの比抵抗は20k Ω ・cm程度であり、量産ベースでは8k Ω ・cm程度である。また容易に得られる電圧は100ないし200Vであり、例えば20k Ω ・cmKの基板で200V印加で1mmの空乏層が得られ、100Vでは750 μ mとなる。8k Ω ・cmの基板では200Vで700 μ m、100Vで500 μ mである。

【0018】暗電流の大きさ、実用的に得ることのできる基板比抵抗、取り扱う印加電圧、ブレイクダウンを考えると基板の厚みは1mm以下にするのがよい。更に通常の量産プロセスでは600 μ m程度が好ましい。高比抵抗の基板は製造プロセスにより比抵抗が低下しやすく、特に基板厚みの厚いものほどこの傾向は著しく、また欠陥の少ないPN接合の形成も困難である。従って高比抵抗の厚いシリコン半導体基板の使用は好ましくない。

【0019】一方シンチレーターを使用する場合にくらべてPINダイオードに放射線を直接入射する方が検出効率や分解能がすぐれている。しかし1mm以下の空乏層では10keV以上のエネルギーの放射線の検出効率は低下し、特に50keV以上のエネルギーの放射線の検出効率は著しく低い。

【0020】本発明では基板の厚みは1mm以下でも十分高エネルギーの放射線が検出できる。その1例として本発明の第2の実施例のように積層したPINダイオードの2層とか3層とかの信号を合成した方がよい。

【0021】図5は本発明にかかる半導体装置の第3の実施例を示す斜視図であり、半導体基板の厚みを変えた場合で放射線の入射面を上とすると、上から第1層、第2層のように呼んだとき、1例として第1層のPINダイオード1aは200 μ m、第2層のPINダイオード1bは400 μ m、第3層のPINダイオード1cは600 μ mの厚みとした例であり、このようにすることで下の層の高エネルギー放射線の検出効率を向上できる。

【0022】図36は本発明の第3の実施例の放射線のエネルギー検出効率特性図であり、第1層から第2層、第3層と下の層にいくほど高エネルギー領域での検出効率が優れていることがわかる。図40は基板比抵抗を変えたときの放射線のエネルギー検出効率特性図で

あり、基板厚み500 μ mで空乏層深さ200 μ m従って印加逆電圧は基板比抵抗によって異なる条件のものである。同じ空乏層深さでも基板比抵抗が大きいものほど高エネルギーでの検出効率がよいことがわかる。しかし1k Ω ・cm以下ではその効果は小さく、従って本発明では特に1k Ω ・cm以上の比抵抗のシリコン半導体基板を使用すると高エネルギーでの検出効率がよくなる。

【0023】図6は本発明にかかる半導体装置の第4の実施例のPINダイオード1素子のP⁺型不純物領域の構造を示す平面図であり、N⁻型半導体基板60に形成されたP⁺型不純物領域61はストリップに分割されている。このPINダイオード1素子を図1のように積層することで1次元(線状)の情報を得ることができる。

【0024】なおPINダイオード1素子の構造はあくまで図3が基本であり、例えばN⁻型不純物領域13とその電極であるカソード電極15は省略するなどの1部の違いはあっても以下にのべることは同様に当てはまる。また以下では説明を簡単にするためP⁺型不純物領域以外の構造は省略する場合がある。

【0025】図7は本発明にかかる半導体装置の第5の実施例を示す斜視図であり図6に示す多数のストリップ構造のP⁺型不純物領域61をもつ基板厚みの異なるN⁻型半導体基板60a、N⁻型半導体基板60b、N⁻型半導体基板60cよりなるPINダイオード1素子を図5の場合と同様に上から下になるにつれて基板の厚みが厚くなるように積層した場合である。この場合例として3層を挙げたがこの数はもちろん特に意味のあるものでなくそれ以上あるいはそれ以下でも構わない。このことは以下の場合の積層数や半導体基板の並べかたあるいはP⁺型不純物領域の分割の仕方でも同様である。

【0026】図8は本発明にかかる半導体装置の第6の実施例を示す斜視図であり図7と同じ構造を1個のP⁺型不純物領域11をもちPINダイオード1素子によって作製した場合で基板厚みの異なるN⁻型半導体基板10a、N⁻型半導体基板10b、N⁻型半導体基板10cよりなるPINダイオード1素子を上から下になるにつれて基板の厚みが厚くなるように積層し、かつこの積層体を横に並べた場合であり、同一基板に多数のP⁺型不純物領域を形成した場合、使用方法によってはクロストークが問題になることがあり、この図8の本発明の第6の実施例ではクロストークを避けることができる。

【0027】図9は本発明にかかる半導体装置の第7の実施例のPINダイオード1素子のP⁺型不純物領域の構造を示す平面図であり、N⁻型半導体基板90に形成されたP⁺型不純物領域91は方形に多数に分割されており、このPINダイオード1素子を図1のように積層することで2次元の情報を得ることができる。なおこの場合図5のように各層の基板厚みを変えると下の層の高エネルギー放射線の検出効率を向上できる。

【0028】図10は本発明にかかる半導体装置の第8

の実施例を示す斜視図であり図9と基本的に同じ機能を有する半導体装置を1個のP⁺型不純物領域11をもつ基板厚みの異なるN⁻型半導体基板10a、N⁻型半導体基板10b、N⁻型半導体基板10cよりなるPINダイオード1素子を上から下になるにつれて基板の厚みが厚くなるように積層し、かつこの積層体を2次的に並べた場合でありこの場合もクロストークは生じない。

【0029】以上のような構造によればほぼ10keV以下の低エネルギーの放射線は第1層目ないしはそれに近い層でほとんど吸収、検出され下の層ほど高エネルギーの放射線の情報が多くなるため各層によって異なるエネルギー帯域の情報が得られることとなる。

【0030】またこの際スペーサに低エネルギーの放射線を吸収する機能をもたせることにより、より優れた結果が得られる。ところで実際の作業で扱える半導体基板の厚みは例えばせいぜい200μmでありこれより薄い半導体基板の扱いは無理である。一つの検出層の半導体基板の厚みは下の検出層の半導体基板にとっては吸収層となるものでありしたが一つの検出層による放射線の吸収を小さくしたい場合は他の方法を考える必要がある。

【0031】図11は本発明にかかる第9の実施例の半導体装置に使用するPINダイオード1素子の断面図であり、厚いN⁻型不純物領域12の上にN⁻型不純物層42がありその表面にP⁺型不純物領域11とN⁻型不純物領域13が形成されており、P⁺型不純物領域11の形成された部分のN⁻型不純物領域12は削られて他の部分より薄くなっている。このような構造は実際には例えばN⁻型半導体基板にN⁻型不純物層をエピタキシャル成長させることによって得られる。このようにして200μm以下、PN接合を形成できる限界の3μmまでの厚みが得られる。

【0032】図11のPINダイオード1素子を利用して図1と同様に積層することで本発明の第9の実施例の半導体装置が得られ1層の厚みが極めて薄い半導体装置となる。図11に示すPINダイオードを利用して図5に示す構造と同様に基板あるいはN⁻型不純物層の厚みを変えて積層することで本発明の第10の実施例の半導体装置が得られる。

【0033】図12は本発明にかかる第11の実施例の半導体装置に使用するPINダイオード1素子の模式断面図であり、表面に熱酸化SiO₂膜である絶縁層43を形成したシリコンよりなる支持基板44に一方の面にP⁺型不純物領域11とN⁻型不純物領域13がもう一方の面にはN⁻型不純物領域12が形成されたN⁻型不純物層42がのっており、PN接合部分の支持基板が除去され、支持基板上に極めて薄いPINダイオードがのっているような構造となっている。

【0034】このような構造は以下のようにして得られる。シリコンの(100)方位のCZ法により製造された半導体基板からなる厚さ400μm程度の支持基板4

4の表面に例えば50Ω・cm以上の比抵抗のN⁻型で厚さ300μm程度のFZ法により製作された予め表面にN⁻型不純物領域12を形成したN⁻型半導体基板を熱酸化膜からなる絶縁層43を挟んで接着しN⁻型半導体基板側を研磨しN⁻型不純物層42とする。いわゆる張り合わせ構造のSOI基板である。

【0035】支持基板44は、製造工程中にN⁻型不純物層42を補強し支持する役割を持つもので、熱膨張係数が等しいシリコン基板が望ましく、高温の半導体製造工程における高温の熱処理プロセスを考えると、熱処理に強いシリコンのCZ法により製造された基板が最も望ましい。

【0036】本実施例の構造をとると、N⁻型不純物層の比抵抗をエピタキシャル層では得られない数kΩ・cm以上にすることも可能になる。支持基板をシリコンの面方位(100)基板にすると、KOH等を用いた異方性エッチングにより除去部を応力集中の緩和された構造とすることができ、機械的強度を強くすることができる。

【0037】図12のPINダイオード1素子を利用して図1と同様に積層することで本発明の第11の実施例の半導体装置が得られ1層の厚みが極めて薄い半導体装置となる。図12に示すPINダイオードを利用して図5に示す構造と同様に基板あるいはN⁻型不純物層の厚みを変えて積層することで本発明の第12の実施例の半導体装置が得られる。

【0038】本発明の第9から第12の実施例の半導体装置は特に10keV以下の低いエネルギーでのエネルギー帯域の異なるX線の検出に効果がある。図13は本発明にかかる第13の実施例の半導体装置を示す断面図であり、N⁻型半導体基板10の一方の面にN⁻型不純物領域13に隔てられて多数のP⁺型不純物領域11g、11h、11iが形成され反対側の面にはN⁻型不純物領域12が形成されている。

【0039】これらP⁺型不純物領域の上にはSiO₂膜40、Si₃N₄膜41が形成されている。P⁺型不純物領域11gの上のSiO₂膜40は薄くなっており、それに対しP⁺型不純物領域11hの上のSiO₂膜40はP⁺型不純物領域11gの上のSiO₂膜40より厚くなり、P⁺型不純物領域11iの上には厚いSiO₂膜40の上に更にSi₃N₄膜41が形成されており、そのためP⁺型不純物領域11g、11h、11iにより形成されたPN接合部に入射した各エネルギー帯域の放射線強度比は異なることとなる。

【0040】これらSiO₂膜40、Si₃N₄膜41はX線、γ線や荷電粒子線などの放射線にたいしては吸収層となり、厚みにより各エネルギー帯域の放射線の透過率が異なる。なお厚みでなくとも異なる原子番号の物質を利用することで各エネルギー帯域の放射線の透過率を変えることができる。

【0041】シリコン半導体プロセスでは SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜のほかに特にAl膜、ポリシリコン膜が吸収層として利用しやすい。吸収量を大きくするにはAlとポリシリコンが良く、吸収量を小さくするには SiO_2 と Si_3N_4 が良い。

【0042】吸収量を大きくするのに例えばポリシリコンを厚くすることは膜質の低下をまねきやすく、Alとポリシリコンを併用した方が好ましい場合がある。また基板の単結晶シリコンの上に直接ポリシリコンやAlを形成することは素子性能に影響をあたえることがあり、この場合 SiO_2 を形成したうえでAlとポリシリコンを形成する必要がある。このように吸収層としては SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、Al膜、ポリシリコン膜を単独あるいは併用して使用する必要がある。

【0043】図14、図41は本発明にかかる第14、第35の実施例の半導体装置のP⁺型不純物領域の平面配置を示す模式平面図であり、P⁺型不純物領域11g、11h、11iは図13と基本的には同じ構造をもち図13に示した本発明にかかる第13の実施例の半導体装置の1次元化あるいは2次元化への応用である。

【0044】図14で示すように、これら基本要素となるN⁻型半導体基板10に形成されたP⁺型不純物領域11g、11h、11iの3個は規則的に配置されている。この配置は1例であるがこのような配置の仕方は表示装置における3原色によるカラー化で既になじみの方法であり、複数の異なる検出エネルギー帯域をもつ微細なP⁺型不純物領域の規則的配置により図14のようにより1次元化あるいは図41のようにより2次元化が可能となる。この場合基本要素となるP⁺型不純物領域は3種類に限られるわけではない。

【0045】図15は本発明にかかる第15の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、図3に模式断面図として示すPINダイオード1素子を実装基板15上に2個続けて並べN⁻型半導体基板10のP⁺型不純物領域11を形成した面に平行にすなわち通常のPINダイオードのN⁻型半導体基板10の端面を入射面として放射線を入射し第1のPINダイオードを透過した放射線が次のPINダイオードにやはりP⁺型不純物領域11を形成した面に平行させるものである。

【0046】このようにP⁺型不純物領域を形成した面に平行にすなわち基板の厚み方向に対し垂直に放射線を入射する場合、空乏層17の様子を図16に模式断面図として示すように実効的空乏層の厚みは y 、つまりP⁺型不純物領域11の放射線の入射方向の幅となり、基板比抵抗や逆電圧をそれほど大きくしなくても実効的空乏層の厚みを数mmから数cmとすることは極めて容易となる。

【0047】ここでN⁻半導体基板10には一方の面にP⁺型不純物領域11とチャンネルストッパーとなるN⁺型不純物領域13が形成され反対側の面にはN⁻型不純

物領域12が形成されている。高エネルギーの放射線ほど空乏層の厚みを厚くする必要があり、特に10keV以上の高エネルギーの放射線の検出に有効となる。

【0048】通常のシリコン半導体基板を利用した場合、基板の厚み方向に平行の放射線を入射すると10keV以上の高エネルギーの検出効率は急激に低下する、なぜなら前述したように通常利用されるシリコン半導体基板の厚みは600 μm 程度であり、せいぜい1mmが限界であるからである。

10 【0049】これ以上半導体基板の厚みを厚くし空乏層を深くするのは暗電流が極端に増えこのまじいことではなく、なおかつ10k $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高比抵抗を必要とするとか100V以上の高電圧を必要とするなどの不都合が生じ、したがって通常容易に得られるシリコン半導体を利用できる本発明の方法が優れている。

20 【0050】この場合端面から空乏層までの間隔は吸収層となりかえって基板の厚み方向に対し垂直に放射線を入射する場合は10keV以下の放射線の検出能力はおとることとなる。端面まで空乏層をのばすことは暗電流の急激な増加を引き起こしどうしても図16に示すようにN⁺型不純物領域13の形成などの手段により空乏層の形成を阻止する必要があるが、逆にこの端面近くの空乏層の形成しない部分の幅を変えることによりこの部分を透過して空乏層に達する放射線のエネルギー帯域を変えることが可能となる。

30 【0051】従って図15に示す本発明の半導体装置の第15の実施例は高エネルギーの放射線の異なるエネルギー帯域の情報の検出に有効となり、特に位置分解能などの必要性のため放射線の入射面の面積に制限がある場合に極めて有効である。図17は本発明にかかる第16の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、実装基板15に2個のPINダイオードすなわち異なる幅のP⁺型不純物領域11d、P⁺型不純物領域11e、をもつ同様に異なる幅のN⁻型半導体基板11d、N⁻型半導体基板11eが並べられており、最初に放射線が入射するP⁺型不純物領域11dの放射線の進行方向に平行な方向の長さより、あとに放射線が入射するのPINダイオードのP⁺型不純物領域11eの放射線の進行方向に平行な方向の長さが大きくおっており、これによりあとに放射線が入射するPINダイオードの高エネルギー領域での検出効率を向上できる。

40 【0052】図18は本発明にかかる第17の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、基本的には第15の実施例と同じくP⁺型不純物領域を形成した面に平行にすなわち基板の厚み方向に対し垂直に放射線を入射することにより高エネルギー領域での検出効率を向上をはかるものであり、図3に示すPINダイオード1素子と基本的に同じ構造をもつPINダイオード1を多数積層した積層体を、基板のP⁺型不純物領域を有する面が互いに
50 平行になるように2段に積み重ね、放射線を積層体の接

画面に平行に入射する。

【0053】上記本発明の第17の実施例では各PINダイオードからの信号を独立にとりだすことにより1次元化を実現できる。またひとつ積層体のPINダイオード合成することでPINダイオード1個を積み重ねただけでは強度が小さい場合の問題を克服できる。

【0054】図19は本発明にかかる第18の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、図18に示す本発明の第17の実施例の変形でもあり、各積層体のN⁻型半導体基板11d、N⁻型半導体基板11eに形成されたP⁺型不純物領域11d、11eの放射線の入射方向の長さを変え検出面から遠ざかる層ほど大きくすることにより下の層の高エネルギーの放射線の検出効率が改善される。

【0055】図20は本発明にかかる第19の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、実装基板15上の1個のN⁻型半導体基板60にP⁺型不純物領域61を入射方向に垂直な方向で分割して形成することにより図15に示した第15の実施例と同等の効果を得るものである。

【0056】図21は本発明にかかる第20の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、実装基板15上の1個のN⁻型半導体基板60にP⁺型不純物領域を入射方向に垂直な方向で分割してP⁺型不純物領域61d、61e、61f、のように形成しかつP⁺型不純物領域61d、61e、61fの放射線の進行方向に平行な方向の長さを入射側から順に大きくするものであり、図17に示す第16の実施例と同等の効果を1基板で得るものであり、これによりあとに放射線が入射するPINダイオードの高エネルギー領域での検出効率を向上できる。

【0057】図22は本発明にかかる第21の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、図20に示す1個のN⁻型半導体基板60に入射方向に垂直な方向で分割した多数のP⁺型不純物領域61をもつPINダイオードを絶縁体よりなるスペーサ2を介して積層し各P⁺型不純物領域からの信号を独立にとりだすことにより1次元化を実現、また各積層体の入射側から同じ順番にあるP⁺型不純物領域からの信号を合成することで強度の向上がはかれる。

【0058】図23は本発明にかかる第22の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、第21の実施例の変形であり、1個のN⁻型半導体基板60のP⁺型不純物領域61d、61e、61fの放射線の進行方向に平行な方向の長さを入射側から順に大きくして絶縁体よりなるスペーサ2を介して積層するものであり、これによりあとに放射線が入射するPINダイオードの高エネルギー領域での検出効率を向上できる。

【0059】図24は本発明にかかる第23の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、1個のP⁺型不純物領域をもつPINダイオードを放射線の入射方向に垂直な

方向と平行な方向に並べることにより複数の異なる検出エネルギー帯域の放射線の検出機能の1次元化をはかったものであり、放射線の進行方向に平行な方向の長さの異なるP⁺型不純物領域11d、11eをもつN⁻型半導体基板10d、10eを放射線の入射側に近い方から遠ざかるにしたがいP⁺型不純物領域の長さが大きくなるように並べ更にこの配列を放射線の進行方向に直交する方向に広げたものである。

【0060】図25は本発明にかかる第24の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、第23の実施例の変形であり、1基板のP⁺型不純物領域を分割することにより1次元化をはかったものでありN⁻型半導体基板60d、60eにはそれぞれP⁺型不純物領域61d、61eが多数形成されかつP⁺型不純物領域61d、61eは放射線の入射側に近い方から遠ざかるにしたがいP⁺型不純物領域の長さが大きくなっている。

【0061】図26は本発明にかかる第25の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、第23の実施例の別の変形例であり、放射線の進行方向に平行な方向の長さの異なるP⁺型不純物領域11d、11eをもつN⁻型半導体基板10d、10eを放射線の入射側に近い方から遠ざかるにしたがいP⁺型不純物領域の長さが大きくなるように並べ更にこの配列を放射線の進行方向に直交する方向に広げたもので第23の実施例の半導体装置を積み重ねた構造であり各PINダイオードからの信号を独立にとりだすことにより2次元化を実現、あるいは所定のPINダイオードの信号を合成することで強度の向上がはかれる。

【0062】図27は本発明にかかる第26の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、第24の実施例の変形例であり、N⁻型半導体基板60d、60eにはそれぞれP⁺型不純物領域61d、61eが多数形成されかつP⁺型不純物領域61d、61eは放射線の入射側に近い方から遠ざかるにしたがいP⁺型不純物領域の長さが大きくなるように配列されこの構造を放射線の進行方向に直交する方向に広げたもので第24の実施例の半導体装置を積み重ねた構造で各P⁺型不純物領域からの信号を独立にとりだすことにより2次元化を実現、あるいは所定のP⁺型不純物領域からの信号を合成することで強度の向上がはかれる。

【0063】図28は本発明にかかる第27の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、第23の実施例の変形例であり、1個のN⁻型半導体基板60のP⁺型不純物領域を放射線の進行方向の長さを進行方向に直交方向では同じに、進行方向では放射線の入射側に近い方から遠ざかるにしたがい大きくなるようP⁺型不純物領域91d、91eと分割することにより第23の実施例と同等の複数の異なる検出エネルギー帯域の放射線の検出機能の1次元化をはかったものである。

【0064】図29は本発明にかかる第28の実施例の

半導体装置を示す斜視図であり、第27の実施例の変形例であり、第27の実施例の半導体装置を3次元に積み重ねることにより各P⁺型不純物領域からの信号を独立にとりだすことにより2次元化を実現、あるいは所定のP⁺型不純物領域からの信号を合成することで強度の向上がはかれる。

【0065】図30は本発明にかかる第29の実施例の半導体装置を示す側面図であり、実装基板15にPINダイオード1p、1vを放射線を1方のPINダイオード1pではP⁺型不純物領域を形成した面に平行にすなわち通常のPINダイオードの半導体基板の端面を入射面として放射線を入射し、もう1方のPINダイオード1vではP⁺型不純物領域を形成した面に垂直にすなわち通常のPINダイオードの受光面に放射線を入射するように設置したものである。

【0066】図37は本発明の第29の実施例の放射線のエネルギー検出効率特性図であり、500μmの厚みのシリコンPINダイオードで空乏層を300μmの深さまで延ばした場合である。垂直入射で検出効率のおちるエネルギー領域では平行入射では検出効率はむしろ向上していることがわかる。

【0067】図31は本発明にかかる第30の実施例の半導体装置を示す斜視図であり、第3の実施例と第22の実施例の半導体装置を使用した場合でこれにより広範囲にわたって異なる検出エネルギー帯域の放射線の独立した検出検出が可能となる。すなわち基板厚みの異なるPINダイオード1a、1b、1cを上から下に基板厚みが厚くなるように積層し基板の広い面に垂直に放射線を入射し、他方幅の異なるP⁺型不純物領域61d、61eを形成したN⁻型半導体基板60を多数積層した積層体を入射側に近い方から遠ざかるにしたがいP⁺型不純物領域の入射方向の幅が大きくなるように基板の広い面すなわちP⁺型不純物領域を形成した面に平行に放射線を入射するものである。

【0068】ところでP⁺型不純物領域を形成した面にすなわち基板に平行に放射線を入射することを考えると図1に示すPINダイオード1素子を積層した半導体装置をもとに本発明の半導体装置の第31の実施例が得られる。すなわち最低1面を半導体装置の固定と信号の外部への取り出しのために使用し、残りの5面を検出面として利用できる。

【0069】図1に示すような構造で5面を検出面として使用する本発明の半導体装置の第31の実施例では基板に垂直入射で比較的低エネルギーの放射線の異なるエネルギー帯域の情報の検出ができ基板に平行入射で高エネルギーの放射線の1次元の情報が得られ、かつ図1の基板のxとy方向の厚みを変えることで検出面により異なるエネルギー帯域の情報の検出ができる。

【0070】図32は本発明にかかる半導体装置の第32の実施例を示す斜視図であり、図3に示すような構造

のPINダイオード1をスペーサ2を介して積層した半導体装置の5つの検出面21、22、23、24、25のうちいくつかの面に低エネルギーの放射線を吸収する、吸収層を、例えばこの場合2面に吸収層26、27を設け、更にx方向とy方向の長さを変えることにより検出面ごとに種々のエネルギー帯域の情報の検出が可能となる。

【0071】図33は本発明にかかる半導体装置の第33の実施例を示す概念斜視図であり、本発明の第22の実施例の半導体装置の上に本発明の第3の実施例の半導体装置を重ねたもので第30あるいは第32の実施例では基板に垂直入射と平行入射について同一場所あるいは同一時間の測定ができないという欠点であるが本実施例ではこの欠点が克服できる。

【0072】すなわち基板厚みの異なるPINダイオード1a、1b、1cを上から下に基板厚みが厚くなるように積層した積層体に基板の広い面に垂直に放射線を入射し、前記積層体の下に幅の異なるP⁺型不純物領域61d、61eを形成したN⁻型半導体基板60を多数積層した積層体を入射側に近い方から遠ざかるにしたがいP⁺型不純物領域の入射方向の幅が大きくなるように基板の広い面すなわちP⁺型不純物領域を形成した面に平行に放射線が入射するように重ねるものである。

【0073】図34は本発明にかかる半導体装置の第34の実施例を示す概念斜視図であり、本発明の第18の実施例の半導体装置の上に本発明の第5の実施例の半導体装置を重ねたもので基板への垂直入射と平行入射の同一場所、同一時間の測定ができかつ1次元化もなされている。

【0074】すなわちストリップ化したP⁺型不純物領域61をもつ基板厚みの異なるN⁻型半導体基板60a、60b、60cを上から下に基板厚みが厚くなるように積層した積層体に基板の広い面にすなわちP⁺型不純物領域61を形成した面に垂直に放射線を入射し、前記積層体の下にPINダイオード1を多数積層した積層体を基板の広い面に平行に放射線が入射するように重ねるものである。この場合N⁻型半導体基板60a、60b、60cのP⁺型不純物領域61のピッチとPINダイオード1の積み重ねのピッチは同じになるようにする。

【0075】図35は第33、第34のような本発明の基板への垂直入射と平行入射の同一場所、同一時間の測定可能な場合の一般的原理を示す斜視図で、入射線を最初に検出する半導体放射線検出装置51は本発明の基板への垂直入射する第1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12の実施例の半導体放射線検出装置であり、下の半導体放射線検出装置52は本発明の基板へ平行入射する第17、18、21、22、25、26、28の実施例の半導体放射線検出装置である。本発明のシリコン半導体放射線検出装置をX線CT装置に

応用することで優れた成果が得られる。

【0076】図38に実施例を概念図として示すように医療用のX線CT装置の検出器として本発明の第17、18、21、22、34などの実施例の放射線検出半導体装置31を使用する。この場合X線源32は回転円30に沿って360度回転し対応して多数の本発明の検出器31が円形に配置されており、検査対象である身体33を透過したX線は本発明の検出器31により検出される。

【0077】このようなX線CT装置の検出器として本発明の放射線検出半導体装置として使用するとエネルギー帯域の異なるX線の情報が得られ筋肉組織や骨組織等の組織の違いに関するより高度の情報を得ることができる。本発明の第17、18、21、22、25、26、28、30、33、32、34などの実施例の放射線検出半導体装置は数十から数百keVのX線から更にγ線までの直接検出が可能でありそのため工業用のX線CT装置やポジトロンCT装置などにも応用可能である。

【0078】ところで本発明では各検出領域（基板ごとあるいはP型不純物領域ごと）の感知するエネルギー帯域は例えば上記図36、図37で述べたように異なるため従来のようにパルス波高分析を行なくてもエネルギーに関する情報が得られ従って電流モードでのエネルギー測定が可能でなおかつPN接合への逆電圧を無バイアス状態でも測定が可能となる。

【0079】従ってブラズマX線などのようにきわめてフォトンが多い場合の測定ではこの電流モードでの測定は有効であり、かつ無バイアス状態でも測定が可能となる。このようなフォトンが多い場合の測定ではパルス波高分析ではバイラップが生じ良い測定はできない。

【0080】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明によれば、新規放射線検出素子としてPINダイオードを積層した構成を取ることでエネルギー帯域の異なる放射線の検出ができる優れた放射線検出器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる半導体装置の第1の実施例を示す斜視図である。

【図2】本発明にかかる半導体装置の第1の実施例の回路図である。

【図3】PINダイオードの断面図である。

【図4】本発明にかかる半導体装置の第2の実施例の回路図である。

【図5】本発明の半導体装置の第3の実施例である。

【図6】本発明にかかる半導体装置の第4の実施例のPINダイオード1素子のP型不純物領域の構造を示す平面図である。

【図7】本発明にかかる半導体装置の第5の実施例を示す斜視図である。

【図8】本発明にかかる半導体装置の第6の実施例を示す斜視図である。

【図9】本発明にかかる半導体装置の第7の実施例のPINダイオード1素子のP型不純物領域の構造を示す平面図である。

【図10】本発明にかかる半導体装置の第8の実施例を示す斜視図である。

【図11】本発明にかかる半導体装置の第9、第10の実施例のPINダイオード1素子を示す断面図である。

【図12】本発明にかかる半導体装置の第11、第12の実施例のPINダイオード1素子を示す断面図である。

【図13】本発明にかかる半導体装置の第13の実施例を示す断面図である。

【図14】本発明にかかる半導体装置の第14の実施例のPINダイオード1素子のP型不純物領域の構造を示す概念平面図である。

【図15】本発明にかかる半導体装置の第15の実施例を示す斜視図である。

【図16】空乏層の様子を示す断面図である。

【図17】本発明にかかる半導体装置の第16の実施例を示す斜視図である。

【図18】本発明にかかる半導体装置の第17の実施例を示す斜視図である。

【図19】本発明にかかる半導体装置の第18の実施例を示す斜視図である。

【図20】本発明にかかる半導体装置の第19の実施例を示す斜視図である。

【図21】本発明にかかる半導体装置の第20の実施例を示す斜視図である。

【図22】本発明にかかる半導体装置の第21の実施例を示す斜視図である。

【図23】本発明にかかる半導体装置の第22の実施例を示す斜視図である。

【図24】本発明にかかる半導体装置の第23の実施例を示す斜視図である。

【図25】本発明にかかる半導体装置の第24の実施例を示す斜視図である。

【図26】本発明にかかる半導体装置の第25の実施例を示す斜視図である。

【図27】本発明にかかる半導体装置の第26の実施例を示す斜視図である。

【図28】本発明にかかる半導体装置の第27の実施例を示す斜視図である。

【図29】本発明にかかる半導体装置の第28の実施例を示す斜視図である。

【図30】本発明にかかる半導体装置の第29の実施例を示す側面図である。

【図31】本発明にかかる半導体装置の第30の実施例を示す斜視図である。

【図 3 2】本発明にかかる半導体装置の第 3 2 の実施例を示す斜視図である。

【図 3 3】本発明にかかる半導体装置の第 3 3 の実施例を示す斜視図である。

【図 3 4】本発明にかかる半導体装置の第 3 4 の実施例を示す斜視図である。

【図 3 5】本発明の基板への垂直入射と平行入射を同時に行う場合の原理を示す斜視図である。

【図 3 6】本発明の第 3 の実施例の放射線のエネルギー検出効率特性図である。

【図 3 7】本発明の第 2 9 の実施例の放射線のエネルギー検出効率特性図である。

【図 3 8】本発明の半導体装置を応用した X 線 C T 装置の概念図である。

【図 3 9】従来の放射線の検出方法の概念図である。

【図 4 0】基板比抵抗を変えたときの放射線のエネルギー検出効率特性図である。

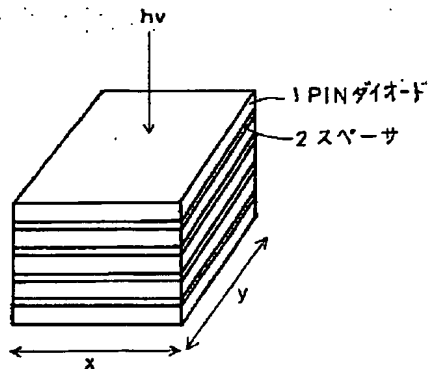
【図 4 1】本発明の第 3 5 の実施例の半導体装置の P⁺型不純物領域の平面配置を示す模式平面図である。

【符号の説明】

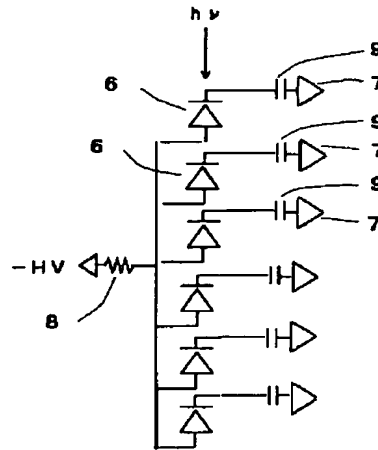
- * 1 PIN ダイオード
- 2 スペース
- 5 シンチレータ結晶
- 6 PIN ダイオード
- 7 プリアンプ
- 8 抵抗
- 9 キャパシタ
- 10、60、90 N⁻型半導体基板
- 11、61、91 P⁺型不純物領域
- 12、13 N⁺型不純物領域
- 21、22、23、24、25 検出面
- 26、27 吸収層
- 31 本発明の半導体装置
- 32 X線源
- 40 SiO₂膜
- 41 Si₃N₄膜
- 42 N⁻型不純物層
- 43 絶縁層
- 44 支持基板

* 20

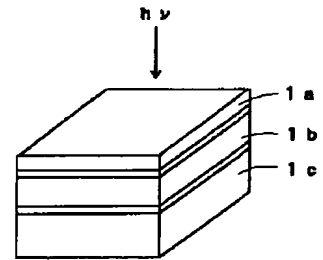
【図 1】



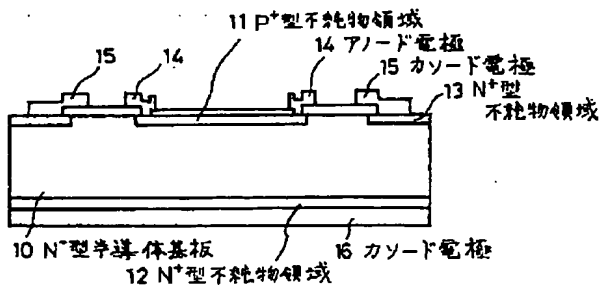
【図 2】



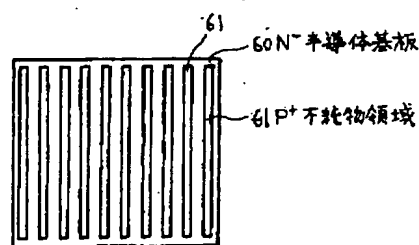
【図 5】



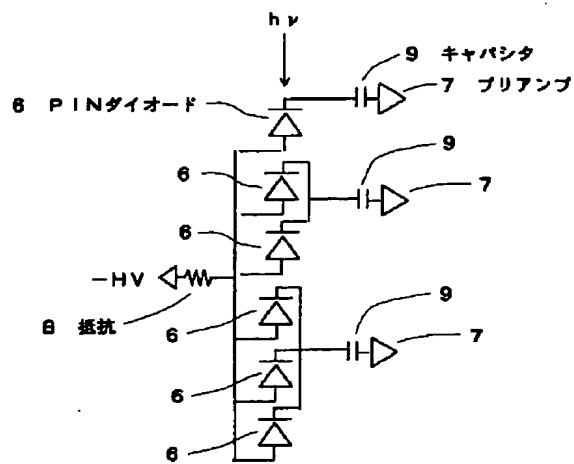
【図 3】



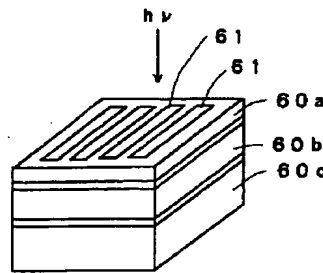
【図 6】



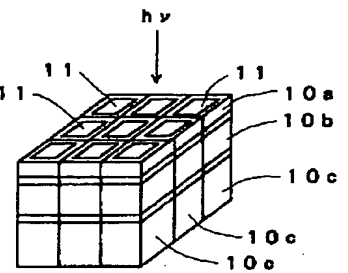
【図4】



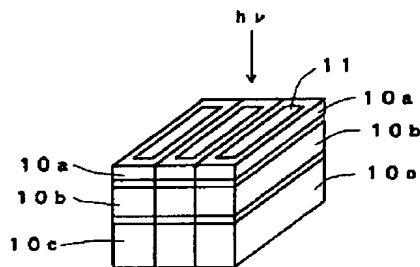
【図7】



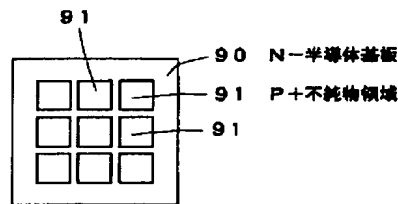
【図10】



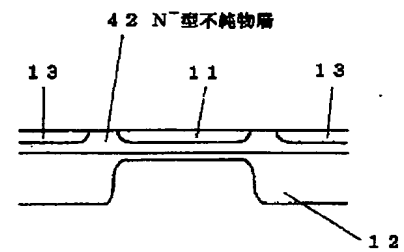
【図8】



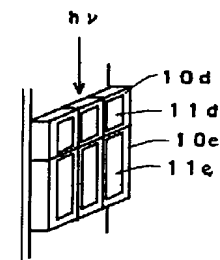
【図9】



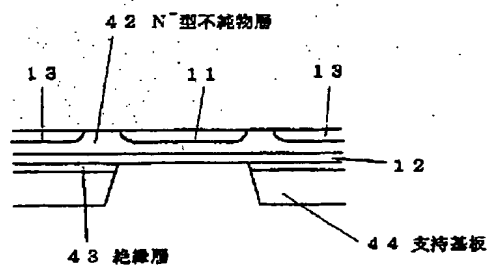
【図11】



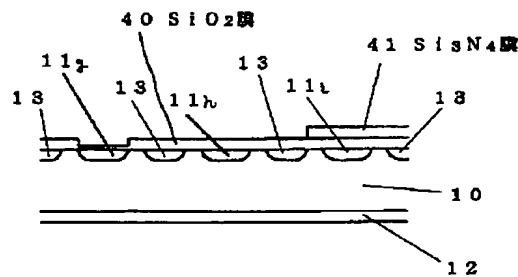
【図24】



【図12】



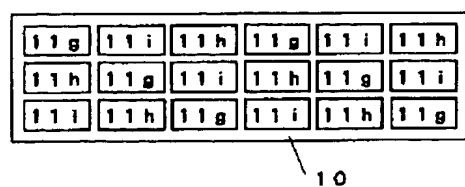
【図13】



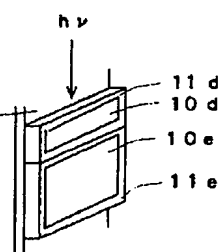
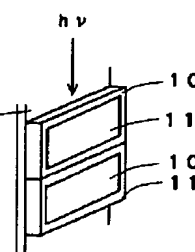
【図15】

【図17】

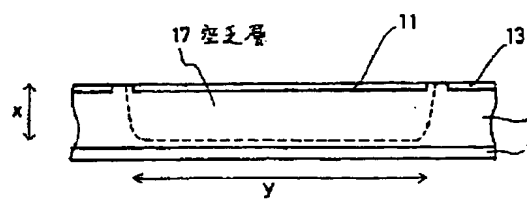
【図14】



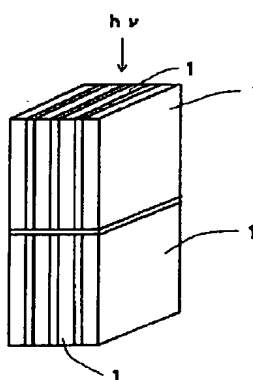
15 実装基板



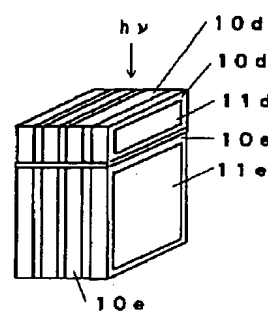
【図16】



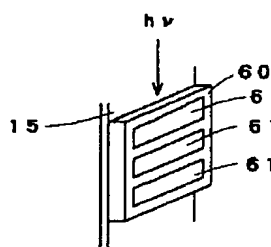
【図18】



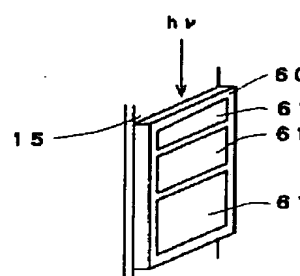
【図19】



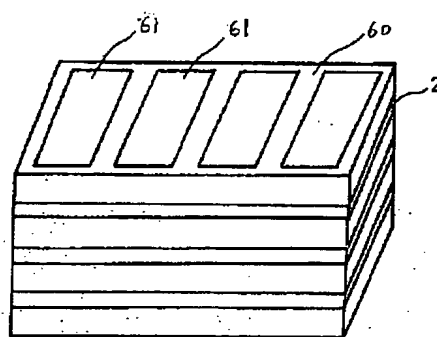
【図20】



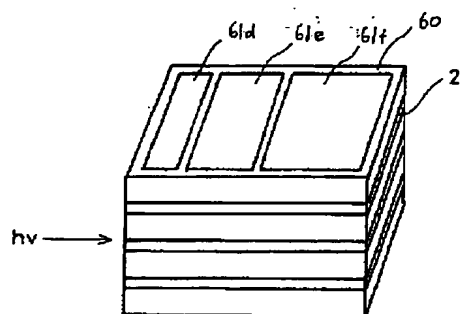
【図21】



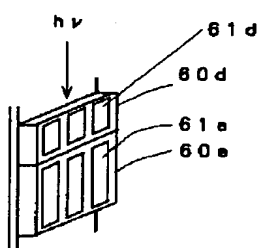
【図22】



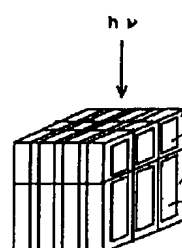
【図23】



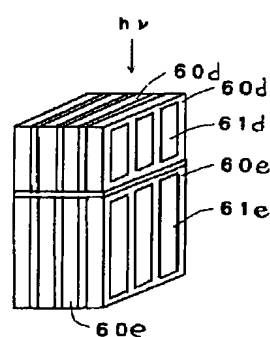
【図25】



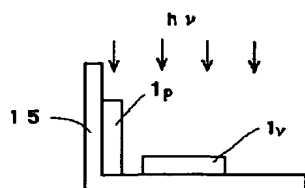
【図26】



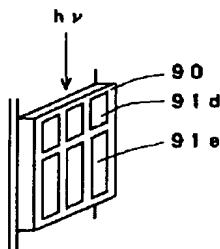
【図27】



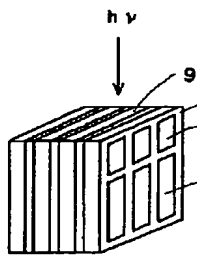
【図30】



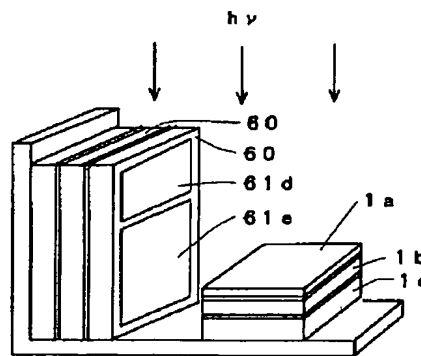
【図28】



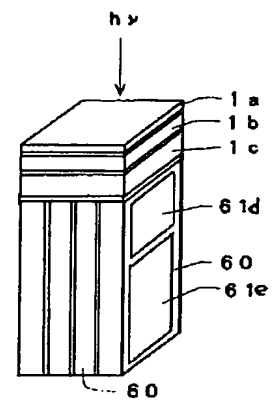
【図29】



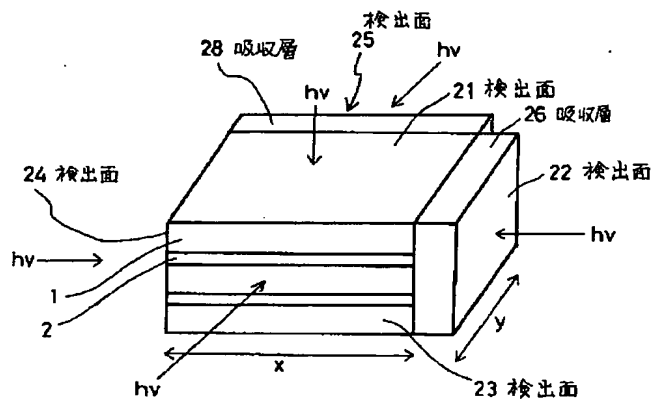
【図31】



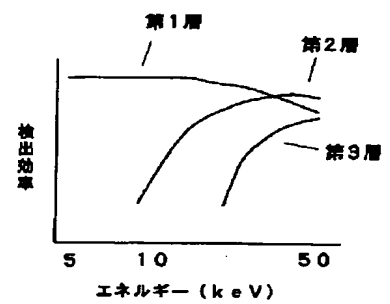
【図33】



【図32】

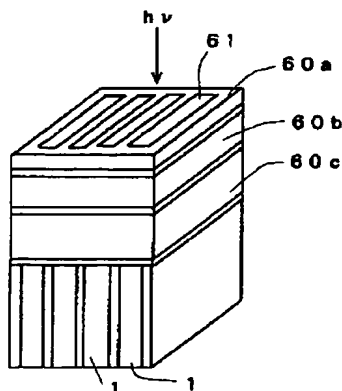


【図36】

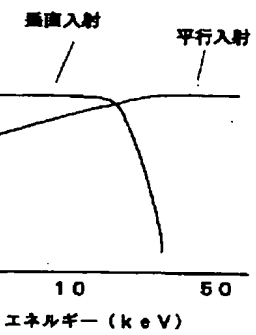
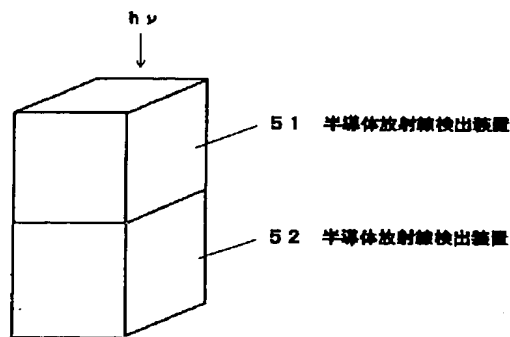


【図37】

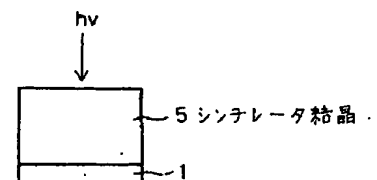
【図34】



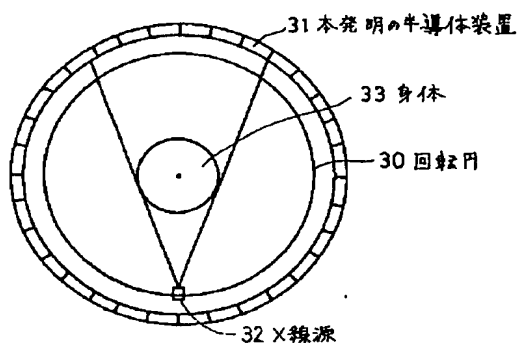
【図35】



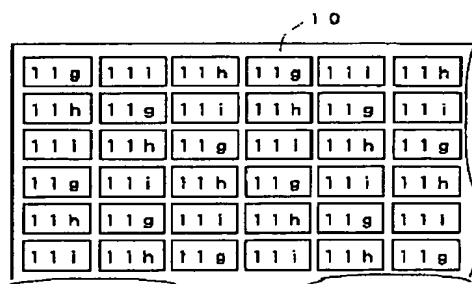
【図39】



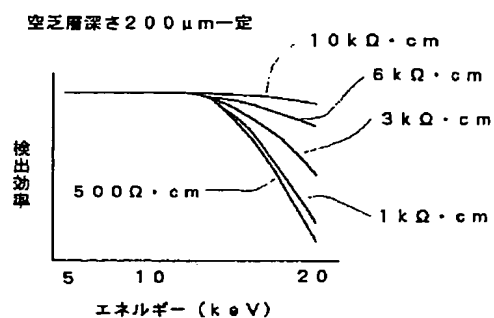
【図38】



【図41】



【図40】



フロントページの続き

(72)発明者 長 照二
茨城県つくば市並木2-101-202
(72)発明者 近藤 真史
茨城県つくば市吾妻2-709-509

(72)発明者 小波蔵 純子
茨城県つくば市天久保2-6-3 シャト
レ天久保A201